



Incrementos esporádicos de NO₂ en la alta troposfera subtropical asociados a células de tormenta

M. Gil¹, M. Yela¹, E. Cuevas² y V. Carreño²

(1) Área de investigación e instrumentación atmosférica – **Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial**

(2) Observatorio Atmosférico de Izaña – **Instituto Nacional de Meteorología**

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) juegan un papel determinante en química de la troposfera catalizando las reacciones de formación de ozono y generando radicales hidroxilo que indirectamente reducen el contenido atmosférico de CO, CH₄ y CFCs. A pesar de ello, existe una incertidumbre considerable respecto a la contribución relativa de las distintas fuentes que los producen. Entre ellas, la aportación de los rayos es la mas incierta, en parte porque no se conoce cual es exactamente la actividad eléctrica global, pero también, porque la producción neta en cada rayo individual es difícil de medir. Algunos estudios sugieren que esta producción neta es realmente mucho más pequeña de lo considerado hasta ahora porque los NO_x se reconvierten rápidamente hacia otras especies más estables. En los registros de la columna de NO₂ medidos diariamente en el Observatorio de Izaña desde 1993, se observan bruscos incrementos esporádicos desligados de la química estratosférica. Mediante una técnica basada en la aplicación de un modelo de transferencia radiativa a las observaciones, para un caso concreto (11-12 Mayo 2000), hemos encontrado que el aumento medido tiene lugar en una altura entre 10 y 12 km. Del análisis detallado de las distintas posibilidades, p.e. intrusión estratosférica, contaminación local, contaminación de largo recorrido desde Europa o América o producción en tormentas, se extrae que es ésta última la única que puede explicar el brusco incremento observado entre los datos de la mañana y los de la tarde, con concentraciones estimadas de 300-400 pptv en la alta troposfera.

1. Introducción

La distribución de óxidos de nitrógeno en el estrato conocido como UTLS (Upper Troposphere Lower Stratosphere) en las regiones tropicales y subtropicales ha adquirido recientemente un gran interés. Los modelos denominados CTM (Chemical-Transport-Models) subestiman los NO_x en esta región. [Jaeglé et al., 1998]. El conocimiento de la cantidad de NO_x producida por actividad eléctrica continua siendo muy pobre debido a las dificultades intrínsecas de calcular con precisión la producción neta en cada rayo individual, y también por la irregular distribución espacio-temporal de las tormentas que dificultan una modelización fiable.

En consecuencia, la contribución de cada fuente a la cantidad global de los NO_x es muy incierta. Algunos autores consideran que la producción por rayos es incluso la fuente dominante [Lamarque et al., 1996], mientras otros [Ehhalt et al., 1992] consideran que la principal fuente es la producción por combustión fósil y emisiones aéreas, con los rayos en tercera posición. De ésta opinión son también Jaeglé et al. [1998] quienes realizaron un estudio para la alta troposfera en EEUU. La magnitud en la incertidumbre se pone de manifiesto en las tablas de Holland et al. [1999] en donde la producción de NO_x por rayos no pueden acotarla más que entre 3 y 13 TgN/año. La mayor parte de los datos obtenidos proceden de campañas aerotransportadas, principalmente en latitudes medias. La situación es más incierta en latitudes tropicales donde las medidas son aún más escasas. Denis et al., [1998] usando espectroscopía desde tierra no han encontrado indicios de incremento en la columna de NO₂ durante episodios de tormentas en la Isla de La Reunión, una estación tropical/ecuatorial en la región de influencia de la ITCZ .



En el presente trabajo se analiza un caso (11 mayo 2000) de incremento brusco de la columna de NO_2 escogido en ausencia de nubes y polvo, a partir de los registros de los espectrómetros del INTA emplazados desde 1993 en el Observatorio Atmosférico de Izaña. Estos incrementos, generalmente de un día de duración, se observan como bruscos picos superpuestos a una relativamente suave variación dominada por la oscilación anual, en fase con el número de horas de luz disponible, y modulada por la dinámica de la estratosfera donde se encuentra la mayor parte de los NO_x atmosféricos, en ausencia de contaminación.

2. Datos y resultados

La figura 1 muestra claramente los picos para el año 2000. La estadística de datos disponibles nos dice que estos picos son más frecuentes en primavera. Las posibilidades en un principio consideradas sobre el origen de estos bruscos aumentos son: a) transporte vertical de contaminación de áreas pobladas en los alrededores (Santa Cruz o Puerto de la Cruz), b) cambio abrupto en la componente meridional de la circulación estratosférica, c) intrusiones estratosféricas en la troposfera, d) transporte de largo recorrido desde centros de contaminación remotos (p.e. EEUU), e) tormenta.

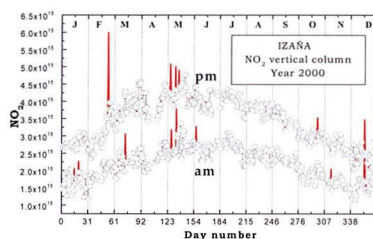


Figura 1.- Evolución anual de la columna de NO_2 para el amanecer (curva inferior) y anochecer. Los picos están representados en rojo.

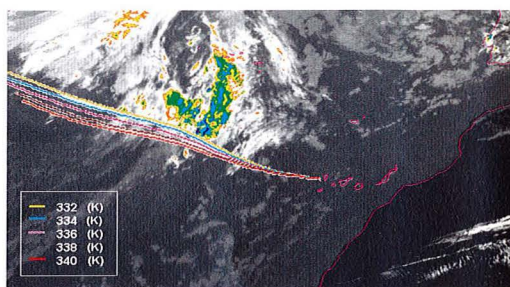


Figura 2.- Imagen tratada del Meteosat de las 00 del día 11/05/00. Retro trayectorias (6:28 GMT – 12/05/00) hasta las 00 del día 11/05) entre 10 Km y 12 Km.

Para estudiar el origen de estos picos se ha considerado inicialmente un caso (el día 132, 11 de mayo) con cielos despejados que nos permite excluir procesos de amplificación de recorrido óptico por scattering múltiple en el interior de las nubes o procesos de química heterogénea asociados al polvo sahariano. Los registros de radiosondeos de Sta. Cruz del día 132 muestran la inversión MBL perfectamente establecida sobre la isla y situada claramente por debajo de la estación (a unos 1800 m.a.s.l.) impidiendo el transporte de la contaminación urbana hasta Izaña. La "capa" de NO_2 estratosférico situada en latitudes tropicales a unos 30 km presenta un fuerte gradiente meridional durante el invierno. La componente meridional de la dirección del viento actúa como agente modulador de la columna en escalas de algunos días. En los equinoccios las horas de luz son similares en todo el globo y los gradientes horizontales son mínimos. Este hecho unido a que en los días precedentes y posterior a la aparición del pico la dirección del viento en la estratosfera medida fue idéntica de NW, y que, además, los picos son siempre en sentido positivo, excluyen esta posibilidad como posible causa. La intrusiones estratosféricas en la troposfera pueden dar lugar a aumentos en la columna de NO_2 si el transporte se inicia en niveles muy altos (25 km o más) y alcanza alturas cercanas al nivel del mar. En estos improbables casos se deben observar aumentos en el contenido de ozono correlacionados positivamente con el NO_2 . Ni en la exploración de los registros de ozono obtenidos con la misma técnica ni en los observados con el espectrofotómetro Brewer se observa anomalía alguna.



Un procedimiento para estimar la altitud en donde tiene lugar el aumento brusco de NO_2 es analizar la dependencia con el ángulo cenital de la curva r obtenida de dividir el día de interés por el día precedente. Como en condición de cielos despejados los caminos ópticos de los rayos son los mismos, r debería ser constante con el ángulo cenital si el aumento tiene lugar en la estratosfera donde se encuentra el máximo de la capa. De no ser así, r nos está indicando que el brusco aumento está centrado en alguna otra altura. Como r es proporcional a las masas ópticas de cada día, se ha procedido a calcular esta relación de masas ópticas m mediante el modelo INTA de transferencia radiativa suponiendo distintas hipótesis de altitud de la capa, separadas de 2 en 2 km. De la correlación entre los parámetros r medido y m calculado se extrae que el exceso de NO_2 se encontraba a una altura entre 10 y 12 km y su concentración era de 300-400 pptv. Durante esos días la altura de la tropopausa era de 14 km, por lo que esta nube de NO_2 era claramente de origen troposférico. Pero, ¿Cuál es su procedencia? Las concentraciones medidas son excesivas para pensar en contaminación por transporte de largo recorrido ya que suponen más de un orden de magnitud mayor que las medidas sobre Norte América, en la vertical de los focos de contaminación.

El análisis de trayectorias de las alturas donde se produjo el incremento nos dirige hacia un centro de bajas presiones con tormentas asociadas al noroeste del observatorio (figura 2). Los datos medidos de vapor de agua muestran un incremento sensible coincidiendo con el aumento de NO_2 por lo que la causa de los incrementos observados, en ausencia de otra posible alternativa se atribuye a la producción y posterior acumulación en la alta troposfera, en tormentas situadas a barlovento de la estación. Estos resultados demuestran por vez primera que las medidas remotas de la columna de NO_2 sirven para detectar concentraciones anómalas de NO_x en la alta troposfera y ponen de manifiesto que la actividad tormentosa constituyen una fuente neta de estos radicales en la región UTLS en las regiones subtropicales.

3. Conclusiones

Los registros de la columna de NO_2 en el Observatorio de Izaña muestran bruscos incrementos de duración 1 ó 2 días superpuestos a la onda anual varias veces al año. Entre las posibilidades de contaminación local o de largo recorrido, intrusiones estratosféricas, cambio brusco de la componente meridional del viento en la estratosfera o producción por rayos, ésta última es la única posible en el caso estudiado. Comparando la relación de la columna de NO_2 en función del ángulo cenital entre el día del episodio y el anterior con las masa ópticas, se estima que el incremento de NO_2 tiene lugar en la alta troposfera a altitudes entre 10 y 12 km. Esta técnica es la primera vez que ha sido usada para esta aplicación. La concentración encontrada de 300-400 pptv es compatible con producción de NO_x por rayos en una masa de aire procedente de un núcleo de tormenta que en esos días se encontraba situada a barlovento del observatorio desplazándose hacia el Nordeste.

4. Referencias

- Denis, L. et al., Saz total Ozone and NO_2 at the southern Tropics and Equator, *Atmospheric Ozone, Procc. XVIII Quadrenn. Ozone Symp.* 1996, Ed. Bojkov &Visconti, 1998
- Ehhalt, D.H. et al., Sources and distribution of NO_x in the upper troposphere at northern mid-latitudes, *J. Geophys. Res.*, 97, 3725-3738, 1992
- Jaeglé, L. et al., Sources and chemistry of NO_x in the upper troposphere over the Unites States, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1705-1708, 1998
- Holland, A., F.J. Dentener, B.H. Brasswell, J.M. Sulzman, Contemporary and Pre-industrial Global reactive nitrogen budgets, *Biogeochemistry*, 46, 7-43, 1999.
- Lamarque, J-F et al., Three-dimensional study of the relative contributions of the different nitrogen sources in the troposphere, *J. Geophys. Res.*, 101, 22955-22968, 1996 (Correction *J. Geophys. Res.*, 102, 10873, 1997